

# Patofyziológia vnútorného prostredia

## Voda, elektrolyty, acidobázická rovnováha



Prednáška z patofyziológie  
Všeobecné lekárstvo  
2025/2026  
Eva Lovášová a Oliver Rácz



1

**Voda**



2

### VEKOVÁ ZÁVISLOSŤ HOMEOSTÁZY TEKUTÍN

| Vek          | Celkové množstvo vody % | Denná výmena % |
|--------------|-------------------------|----------------|
| Novorodenec  | 79                      |                |
| 3-6 mes.     | 70                      | 14-16          |
| 7-12 mes.    | 60                      | 12-15          |
| Dospelý muž  | 60                      | 2-4            |
| Dospelá žena | 51                      | 2-4            |

**Novorodenci:** ECT > ICT, nebezpečenstvo dehydratácie

**V staršom veku:** zmeny v adaptačných mechanizmoch (nebezpečenstvo dehydratácie)  
+ menej svalov a často aj viac tuku (menšie percento vody)

**Muži:** viac svaloviny – viac vody (bunky), **ženy:** viac tuku, menej vody

**Obézni:** viac tuku a menej vody ako štíhli

3

### DISTRIBÚCIA VODY V ĽUDSKOM ORGANIZME

| Kompartiment | Objem v litroch | % hmotnosti | % celkovej vody |
|--------------|-----------------|-------------|-----------------|
| ICT          | 28              | 40          | 67              |
| ECT          | 14              | 20          | 33              |
| IST          | 11              | 15,7        | 26              |
| IVT          | 3               | 4,3         | 7               |
| SUMA         | 42              | 60          | 100             |

Rozdelenie tekutín v organizme muža s hmotnosťou cca 70 kg

4

## Príjem vody

- príjem čistej vody - 1,0 až 1,5 l/d
- príjem vody potravou - asi 1 l/d
- získavanie vody z metabolizmu
 

|              |                              |
|--------------|------------------------------|
| pri oxidácii | 100 g bielkovín - 35 ml vody |
|              | 100 g cukrov - 60 ml vody    |
|              | 100 g tukov - 107 ml vody    |

celkový príjem **asi 2 - 2,5 l/d**

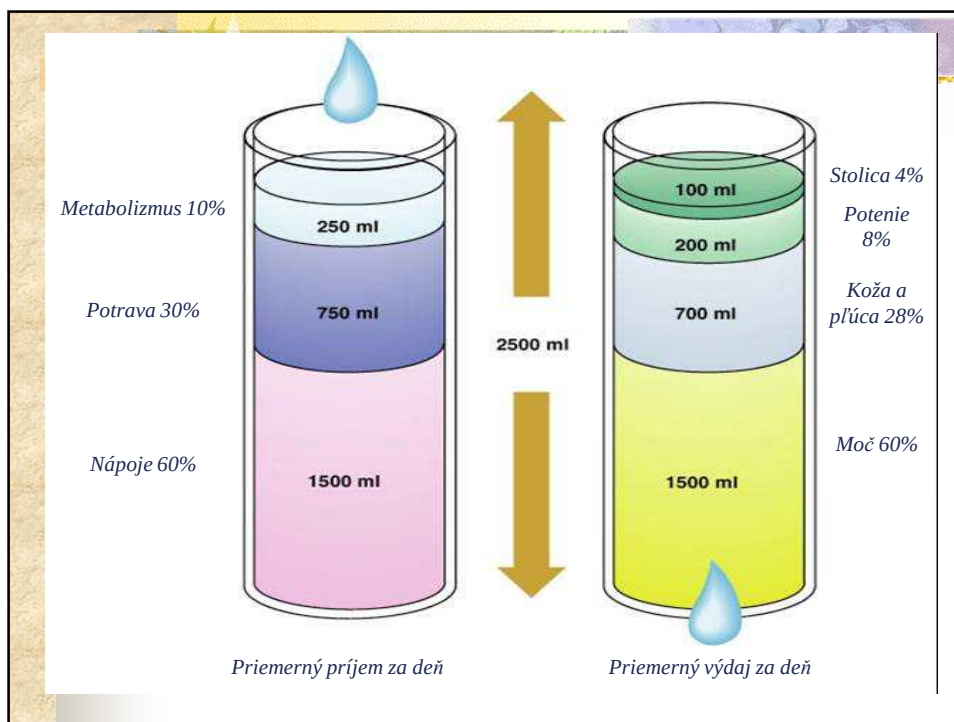
5

## Výdaj vody

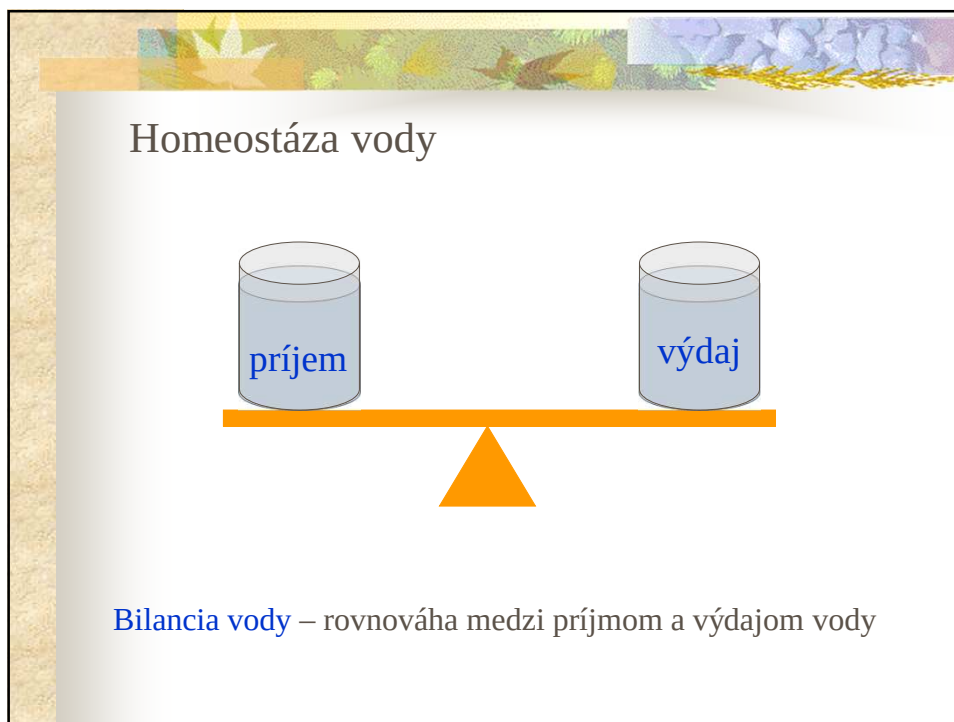
- moč - 1,2 až 1,5 l/d
- perspirácia - 0,6 až 0,8 l/d (viac pri extrémnych klimatických podmienkach, horúčke a pod.)
- respirácia - 0,4 až 0,5 l/d
- stolica - 0,1 l/d (viac pri hnačkách)
  - zvracanie
  - krvácanie
  - redistribúcia vody - edémy

celkový výdaj **asi 2 - 2,5 l/d**

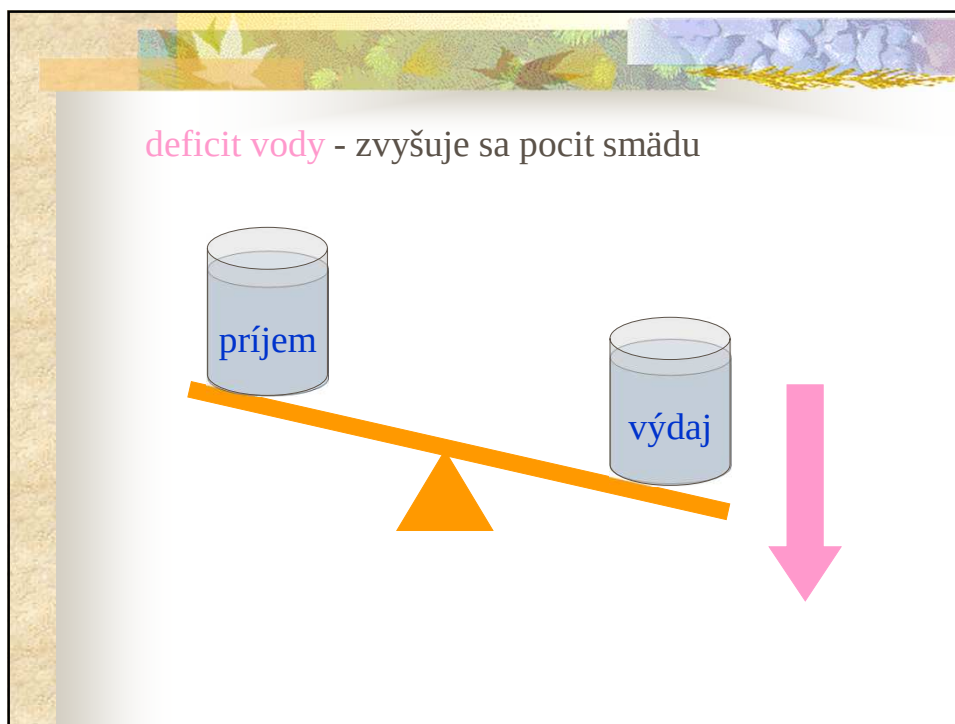
6



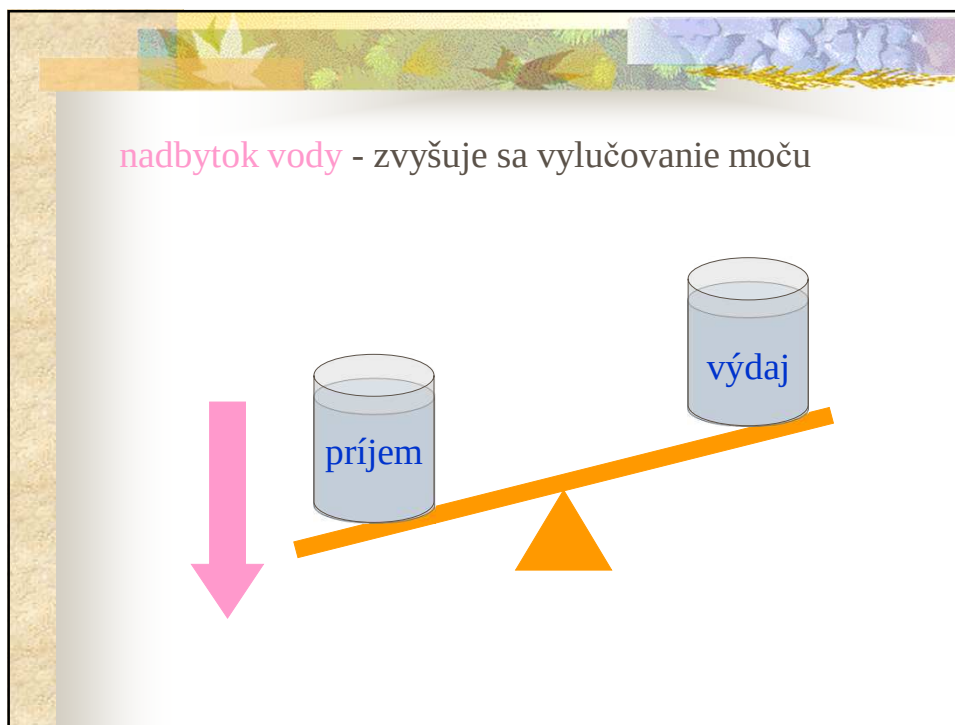
7



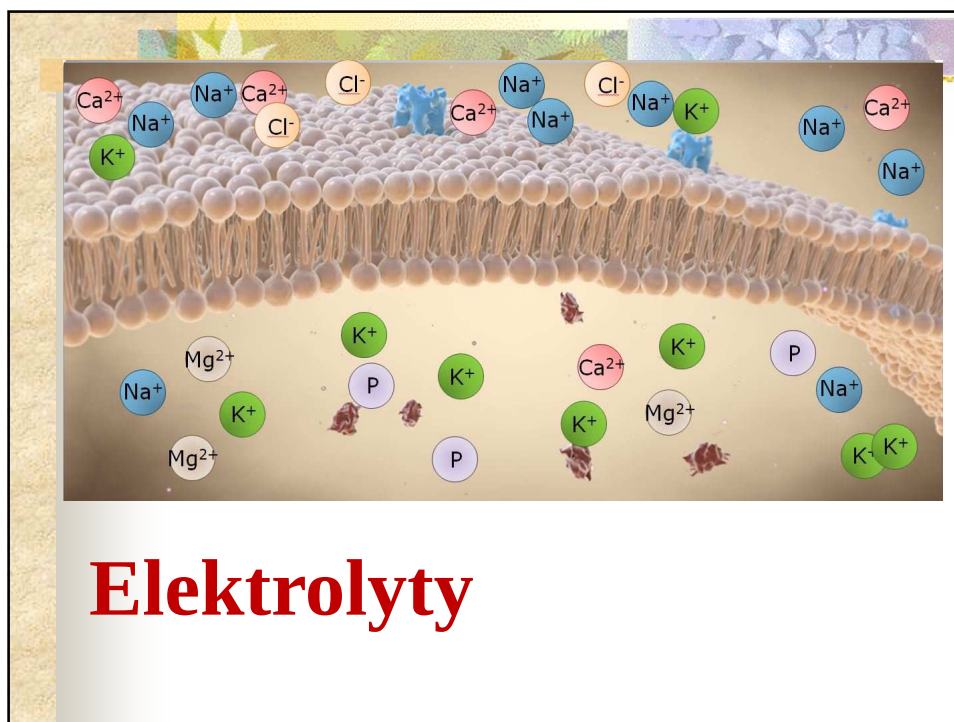
8



9



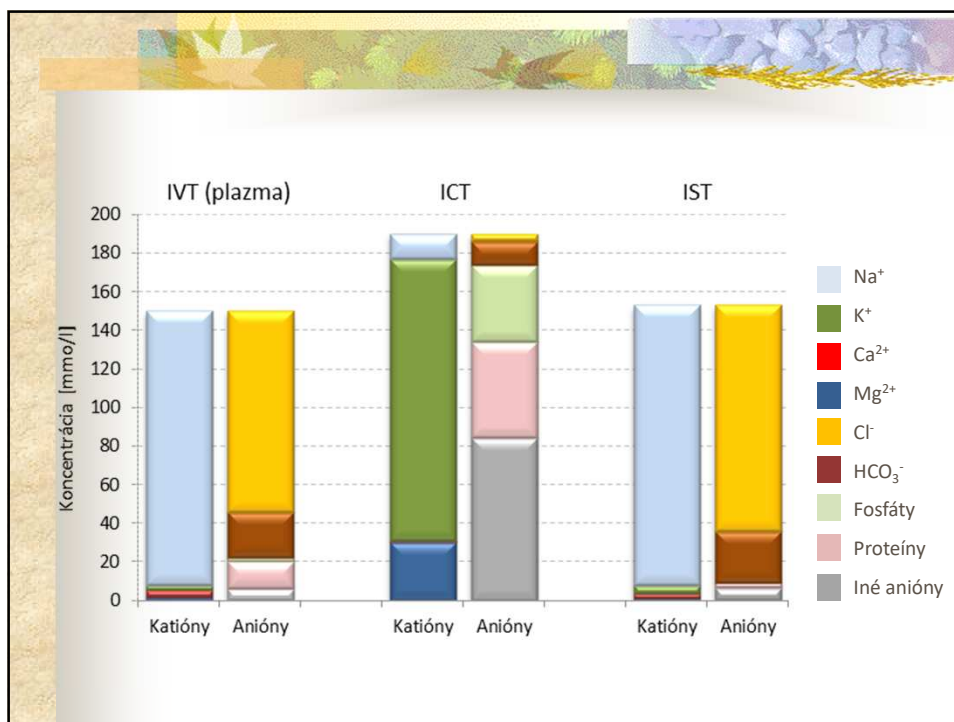
10



11

| Ión                       | Množstvo v tele          | Plazma<br>mmol/l | Bunky<br>mmol/l                  |
|---------------------------|--------------------------|------------------|----------------------------------|
| Sodík, Na <sup>+</sup>    | 92 g<br>4 mol            | <b>141</b>       | 10                               |
| Draslík, K <sup>+</sup>   | 100-140 g<br>2,5-3,5 mol | <b>4</b>         | 155                              |
| Vápník, Ca <sup>2+</sup>  | 1200 g<br>30 mol         | <b>2,5</b>       | < 0,001<br>(zásoby v organelách) |
| Horčík, Mg <sup>2+</sup>  | 26,5 g<br>1,1 mol        | <b>1</b>         | 15                               |
| Chloridy, Cl <sup>-</sup> | 50 g<br>1,4 mol          | <b>103</b>       | 8                                |
| Fosfáty                   | 775 g<br>25 mol          | <b>1</b>         | 65                               |

12



13

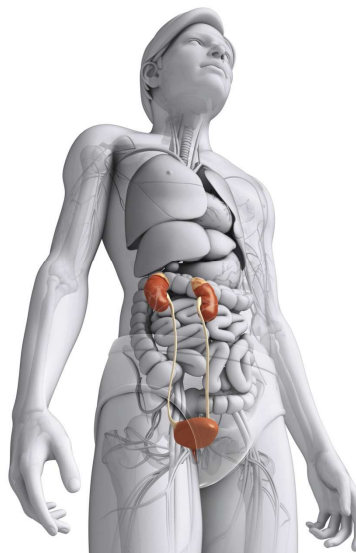


14



## Obličky

- regulácia
  - vody
  - iónov
  - glukózy
  - dusíkatých látok
  - ...



15

## Antidiuretický hormón

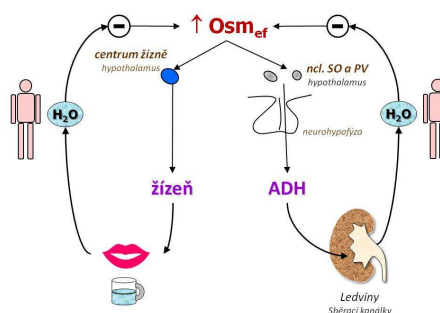


16



## Antidiuretický hormón

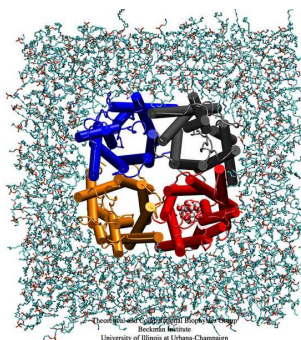
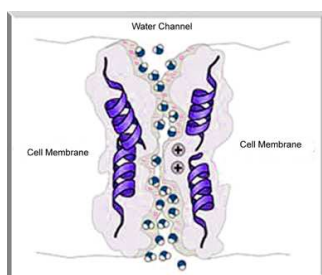
- retencia vody v obličkách
- vazokonstrikcia
- ovplyvňuje syntézu prostaglandínov a prostacyklínov
- ovplyvňuje sekréciu kortikotropínu
- zmeny emócií



17

## Aquaporíny

- vodné kanály
- rodina proteínov, špecializovaných na transport vody cez membránu baktérií, rastlín aj živočíchov
- v obličkách aktivované ADH



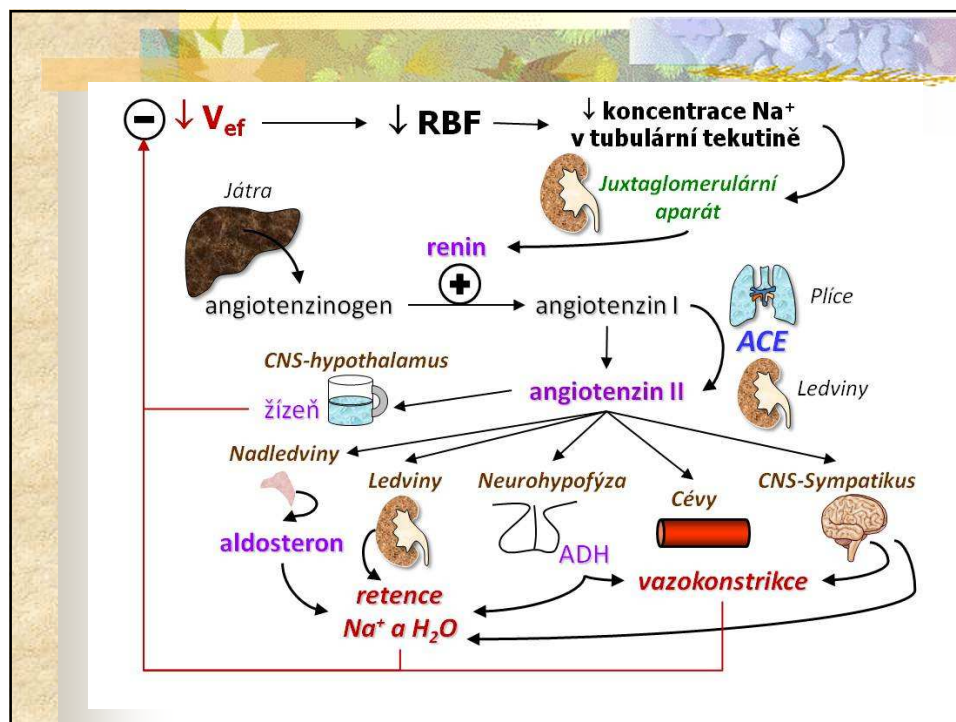
- 2003 – Nobelova cena za chémiu

18

## System renín-angiotenzín-aldosterón

- RAAS
- angiotenzín II
  - zmena cievneho tonusu – zvyšuje krvný tlak
  - prozápalový účinok
- aldosterón
  - zvýšenie spätného vstrebávania sodíka
  - zvýšenie vylučovania draslíka

19



20

## Natriuretické peptidy

- Atriový natriuretický peptid (ANP) – atrium
- Komorový (mozgový) natriuretický peptid (BNP) - srdcové komory u človeka, mozog u prasat'a
- C-typ natriuretickýho peptidu (CNP)
- Dendroaspis natriuretický peptid (DNP)
- Urodilatin – obličky
  
- Atriový natriuretický peptid (ANP)
  - produkovaný v srdcových predsieňach
  - vazodilatácia
  - diuréza, natriuréza
  - inhibícia sekrécie aldosterónu

21



## Patofyziológia homeostázy vody a sodíka

22

## OBJEM A OSMOLALITA = VODA A SODÍK

Osmolarita séra = 285 - 295 mmol/l

Osmometer alebo výpočet:

**Osmolarita plazmy =  $2 \cdot [\text{Na}^+] + [\text{glukóza}] + [\text{urea}]$**

t.j.

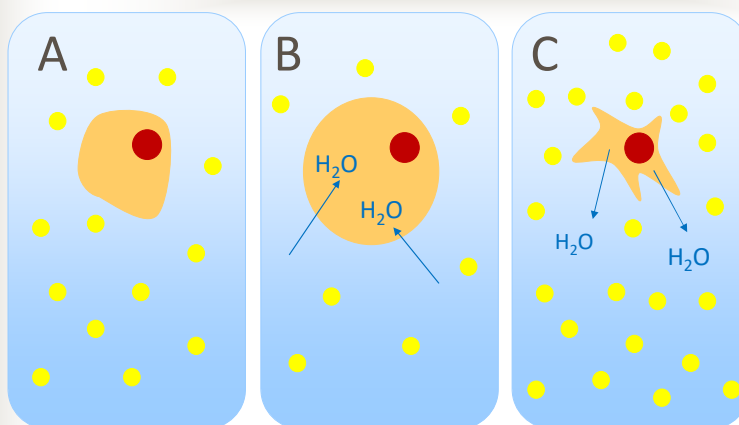
*[katióny 140 mmol/l] + [anióny 140 mmol/l] + [glukóza 5 mmol/l] + [urea 5 mmol/l]*

Nie každá hyperosmolalita je daná Na a iónmi, ale napr. ureou, glukózou, cudzími látkami („osmotic gap“)

Hyperosmolarita ECT vedie k presunu vody z ICT do ECT  $\Rightarrow$  zmenšenie buniek, neurologická symptomatológia

Hyposmolarita ECT vedie k presunu vody z ECT do ICT  $\Rightarrow$  opuch buniek, edém mozgu

23



### VPLYV ZMIEN OSMOLALITY EXTRACELULÁRNEJ TEKUTINY NA BUNKU

- A. Izotonická ECT – nemení sa veľkosť bunky,
- B. Hypotonická ECT – voda prechádza z ECT do bunky, vzniká intracelulárny edém, môže dôjsť k prasknutiu - lýze bunky (napr. erytrocytu),
- C. Hypertonická ECT – voda prechádza z bunky do ECT, dochádza k zmenšeniu objemu bunky.

24

## PORUCHY SYSTÉMU

- Žiadne čisté formy – strata vody, sodíka, atď’...
- Okamžitý nástup kompenzačných systémov.
- ECT komunikuje s vonkajším prostredím – GIT, obličky, koža a s ICT
- ICT nekomunikuje s vonkajším prostredím ale s ECT
- Koncentrácie v plazme – nie je to množstvo a nehovorí nič o dynamike

25

## MOŽNÉ PRÍČINY *mechanizmy*

- ✓ Extrémne výkyvy vonkajšieho prostredia  
*Dehydratácia pri nedostatočnom prívode vody*
- ✓ Poruchy zapríčinené nesprávnou činnosťou efektorových systémov (obličky, GIT, atď’.)  
*Hnačky, zvracanie, choroby obličiek*
- ✓ Poruchy zapríčinené nesprávnou reguláciou (CNS, ADH, aldosterón)  
*Diabetes insipidus, Connov sy., SIADH*  
*Zlyhanie srdca a aktivácia RAA*

26



## Dehydratácia

### Príčiny

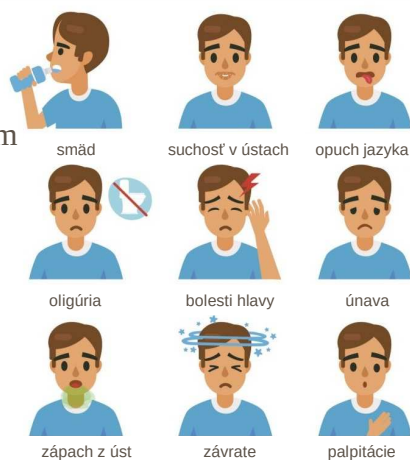
- Nedostatočný prívod
- Neschopnosť prijímať vodu per os (*bezvedomie*)
- Strata tekutín GIT (*hnačky, zvracanie*)
- Strata tekutín obličkami  
(*diuretiká, osmotická diuréza, choroby obličiek, diabetes insipidus, m. Addison*)
- Strata tekutín kožou (*nadmerné potenie, popáleniny*)
- Strata do tretieho priestoru (*ascites*)
- Strata krvi (?)

27

## Dehydratácia

### Príznaky

- hypotenzia,
- tachykardia,
- suchá koža,
- Smäd a suchosť v ústach
  - dysfágia – problémy s prehĺtaním
  - dysfonia – strata hlasu
  - dysgeusia – strata chuti
- niekedy oligúria a znížené vylučovanie sodíka,
- zvýšenie hematokritu,
- zvýšená koncentrácia bielkovín (falošné)



28



## Hyperhydratácia

### Príčiny

- ~~Nadmerný prívod tekutín (normálna regulácia)~~
- Nadmerný prívod a chybná regulácia – SIADH –  
**inadekvátne sekrécia ADH (chýbanie útlmu)**
- obličková nedostatočnosť
- srdcová nedostatočnosť
- pečenná insuficiencia

**Príznaky:** Edémy

29

## Sodík

### Kuchynská soľ v našej strave

|                    |             |                  |
|--------------------|-------------|------------------|
| U nás              | 10 – 12 g/d | 230 – 276 mmol/d |
| Doporučené         | 2 – 7       | 46 – 161         |
| Hypertonici        | do 3,5      | 80               |
| Prísni vegetariáni | 0,75        | 17               |

### Sodík

ECT:  $140 \pm 5$  mmol/l

ICT: 10 - 14 mmol/l

|                        |                  |
|------------------------|------------------|
| vylučovanie - obličkou | 120 - 240 mmol/d |
| stolicou               | 10 mmol/l        |
| potením                | 10 mmol/l        |

30

## Hyponatrémia Na <135 mmol/l

### Príčiny

#### *Zvýšené straty sodíka*

- Addisonova choroba
- Liečba diuretikami
- Choroby GIT s vracaním alebo hnačkami

#### *Nedostatočný príjem sodíka (zriedkavá príčina)*

- Kombinácia prísnej diéty s nízkym obsahom sodíka a liečba diuretikami

#### *Dilučná hyponatrémia – zníženie koncentrácie sodíka je dôsledkom nárastu objemu tekutiny*

- Syndróm neprimeranej sekrécie antidiuretického hormónu (SIADH)
- Ochorenia charakteristické zadržiavaním vody v organizme (oligurická fáza akútneho obličkového zlyhania, zlyhanie srdca, cirhóza pečene)
- Presun vody z ICT do ECT (hyperglykémia, hyperlipidémia, hyperproteinémia).

31

## Hyponatrémia

### Prejavy

- nauzea, zvracanie
- bolesti hlavy
- únava
- poruchy v dráždivosti buniek
- pri dilučnej hyponatrémii – edémy
- ak je znížená koncentrácia sodíka kombinovaná aj so znížením objemu vody - hypotenzia

32

## Hypernatrémia >145 mmol/l

### Príčiny

#### Nadmerný príjem sodíka (zriedkavé)

- Nadmerný príjem sodíka v potrave zvyčajne nevedie k hypernatrémii, pretože pri správne fungujúcej regulácii je prebytok sodíka vylúčený obličkami.

#### Retencia sodíka

- Connov syndróm (hyperaldosteronizmus)
- Cushingova choroba (nadprodukcia ACTH)

#### Straty vody z organizmu

- Diabetes insipidus (deficit ADH)
- Nedostatočný príjem vody (bezvedomie, úrazy hlavy v oblasti hypotalamu, starší ľudia môžu mať znížený pocit smädu napriek vyššej osmolalite plazmy)
- Strata vody z GIT (hnačky)
- Nadmerné potenie (horúčky)

33

## Hypernatrémia

### Prejavy

- pri hypernatrémii voda prechádza z ICT do ECT
- zvýšená dráždivosť
- hyperreflexia
- smäd
- hypotenzia
- tachykardia
- kóma



34



## Poruchy homeostázy chloridov

35

## Chloridy

- Hlavný ECT anión

Nadbytok alebo deficit

- Najčastejšie sa spája s nadbytkom alebo deficitom  $\text{Na}^+$  a zmenami ABR
- Deficit chloridov → metabolická alkalóza
- Nadbytok chloridov → metabolická acidóza

36

## Hypochlorémia < 97 mmol/l

### Príčiny

- Hyponatrémia ( $\downarrow \text{Na}^+ \rightarrow \downarrow \text{Cl}^-$ )
- Metabolická alkalóza ( $\uparrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \downarrow \text{Cl}^-$ )
- Cystická fibróza (dedičné ochorenie)

### Prejavy

- zväčša bez špecifických klinických príznakov
- prítomné najmä príznaky hyponatrémie
- metabolická alkalóza (funguje aj naopak:  $\downarrow \text{Cl}^- \rightarrow \uparrow \text{HCO}_3^-$ )

37

## Hyperchlorémia >109 mmol/l

### Príčiny

- *Dehydratácia – straty hypotonickej tekutiny*
  - Diabetes insipidus
  - Predávkovanie diuretík
  - Nadmerné potenie (napr. pri vysokých horúčkach)
- *Hypernatrémia* ( $\uparrow \text{Na}^+ \rightarrow \uparrow \text{Cl}^-$ )
- *Metabolická acidóza* ( $\downarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \uparrow \text{Cl}^-$ )

### Prejavy

- bez špecifických klinických príznakov
- príznaky dehydratácie a hypernatrémie
- metabolická acidóza ( $\uparrow \text{Cl}^- \rightarrow \downarrow \text{HCO}_3^-$ )

38



## Poruchy homeostázy draslíka

39

### Draslík

- ECT: 3,8 – 5,5 mmol/l v sére
- ICT: 100 - 160 mmol/l
- Celkové množstvo závisí od množstva svalovej hmoty (mladí > starí; muži > ženy)
- Príjem: 2-6 g/d = 50-150 mmol/d
- Vylučovanie predovšetkým obličkami 10 – 20 mmol/d (0,4 – 0,8 g/d). Súvislosť s vylučovaním sodíka a protónov
- Straty GIT sú dôležité pri zlyhaní obličiek a pri patologických stavoch (hnačky)

40



## Úlohy draslíka a interpretačné problémy

### Úlohy

- intracelulárny osmotický tlak
- pokojový a akčný potenciál
  - (pomer  $K^+$  ICT/ECT)
- aktivita enzýmov, proteosyntéza

### Problémy:

- z extracelulárnej koncentrácie musíme posudzovať na stav v bunkách
- Zmeny pH: výmena  $H^+$  a  $K^+$  medzi ECT/ICT

41

## Vnútoraná a vonkajšia bilancia draslíka

### vnútorná – presuny $K^+$ medzi ECT a ICT

- acidóza:  $H^+$  do buniek,  $K^+$  do ECT
- alkalóza:  $H^+$  do ECT,  $K^+$  do buniek
- vstup  $K^+$  do buniek: inzulín, aldosterón, katecholamíny
- vstup  $K^+$  do buniek: bunková proliferácia, liečba perniciózneho anémie vitamínom  $B_{12}$
- únik  $K^+$  z buniek: rozpad buniek (hemolýza, crush sy, rozpad nádorových buniek a i.),  $K^+$  do ECT

### vonkajšia – presuny $K^+$ medzi ECT a prostredím

- retencia/straty obličkami
- straty GIT
- parenterálny prívod

42

## Hypokaliémia < 3,5 mmol/l

### Príčiny

#### *Poruchy externej bilancie*

- GIT – hnačky, zvracanie, nádory hrubého čreva, rekta, pankreasu
- Obličky - diuretiká, polyurická fáza obličkového zlyhania, distálna a proximálna tubulárna acidóza (dedičné), Bartterov sy.
- Primárny a sekundárny hyperaldosteronizmus, Cushing, ektopická tvorba ACTH

#### *Poruchy internej bilancie*

- Liečba diabetickej hyperglykémie inzulínom ( $K^+$  s glukózou vstupuje do buniek)
- poruchy ABR (alkalóza)
- bunková proliferácia
- familiárna hypokaliemická periodická paralýza (dedičná)

43

## Hypokaliémia

### Príznaky

- Hyperpolarizácia membrán →
  - Svalová slabosť, obstipácia, ileus
  - Depresia, zmätenosť
  - Rezistencia na ADH, polyúria, polydipsia
  - Arytmie, extrasystoly
  - EKG - vysoká vlna P, ploché/inverzné T, predĺžené PR, depresia ST, výrazná U vlna, splýva s T

44

## Hyperkaliémia

> 5,5 mmol/l

### Príčiny

#### *Poruchy externej bilancie*

- Znížené vylučovanie obličkami.
- Nadmerný prívod (vrátane infúzií, transfúzií, náhrady NaCl) len pri porušenej činnosti obličiek.
- m. Addison, adrenogenitálne sy., inhibítory angiotenzín konvertujúceho enzýmu

#### *Poruchy internej bilancie*

- acidóza
- rozpad buniek pri rhabdomyolýze, popáleninách, cytostatickej liečbe malignít
- predávkovanie digitalisu
- hyperkaliemická periodická obrna (dedičná)
- malígna hypertermia (dedičná)

45

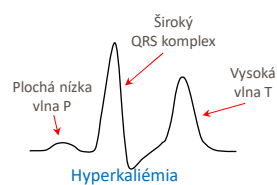
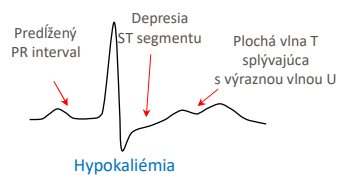
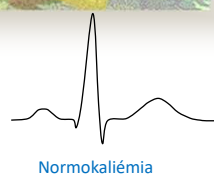
## Hyperkaliémia

### Príznaky

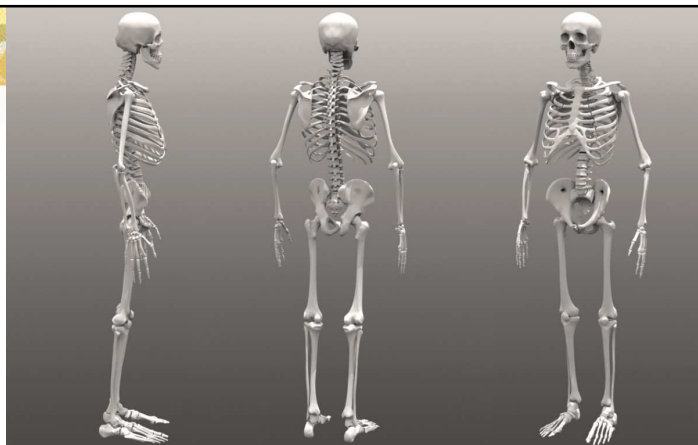
- Nízky pokojový, krátky akčný potenciál, rýchla repolarizácia
  - Často asymptomaticky - môže byť fatálna
  - Fibrilácia komôr a zástava srdca
  - EKG: Rozšírené/chýbajúce P, široké QRS, vysoké končisté T, depresia ST

46

## EKG zmeny pri hypo- a hyperkaliémii



47



## Poruchy homeostázy vápnika a fosfátov

48

## Vápnik

- Celkový 1200 g 30 mol
- ECT 0,9 g 22,5 mmol
- Plazma 0,36 g 9,0 mmol
- Výmena kostí/ECT 500 mmol/d
- Denné straty 25 mmol/d (1g)
  - moč 6 (240 GF – 234 reabsorbcia)
  - stolica 19 (+25 strava, -12 in, + 6 sekrécia)
  - koža 0,3
- Intenzívny obrat 250 mmol/d (10g)

49

plazma 2,2 - 2,8 mmol/l

(v plazme ~  $10^{-3}$  mol/l, v bunkách ~  $10^{-7}$  mol/l)

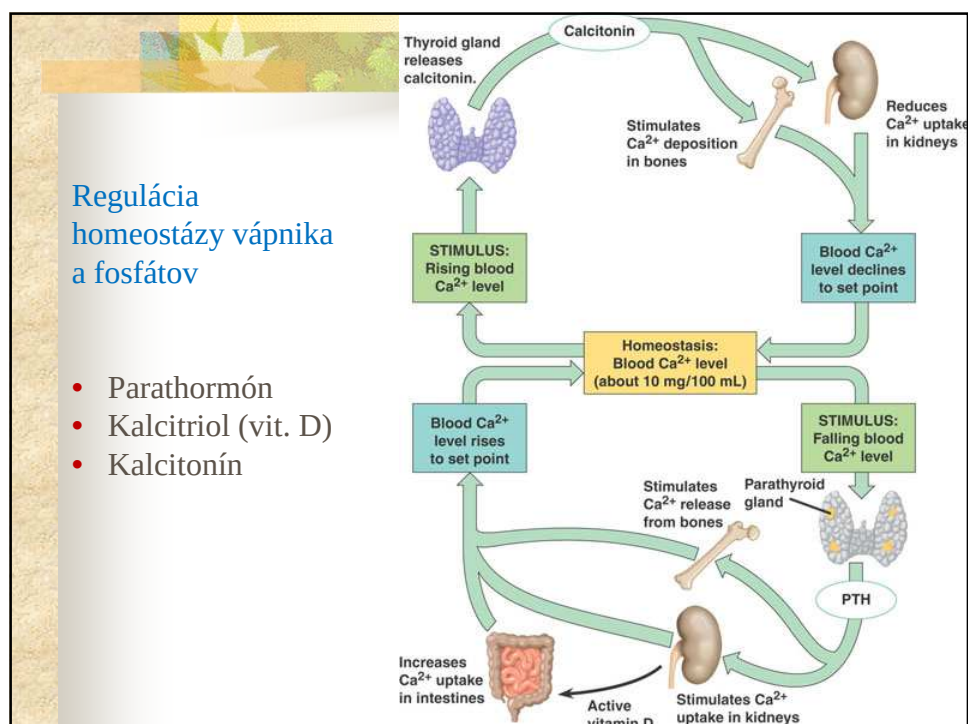
### Funkcie

- štruktúrne - kosti, zuby
- neuromuskulárne - kontrola dráždivosti, uvoľnenie neurotransmiterov, svalová kontrakcia
- krvné - koagulácia
- signálne systémy

50

## Regulácia homeostázy vápnika a fosfátov

- Parathormón
- Kalcitriol (vit. D)
- Kalcitonín



51

## Hypokalcémia < 2.2 mmol/l

### Príčiny

- Hypoparatyreoidizmus
  - Vrodený
  - Získaný – autoimúnnny, extirpácia, hemochromatóza, nádory
- Pseudohypoparatyreoidizmus
- Deficit vitamínu D
- Poruchy metabolismu vit.D – renálne zlyhanie
- Akútna pankreatitída, transfúzie citrátovej krvi, zvýšená potreba Ca v tehotenstve a počas laktácie

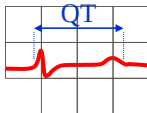
52



## Hypokalcémia

### Príznaky

- stupor, otupelosť, paraestézie
- svalové kŕče „tetánie“
- laryngospazmus
- celkové kŕče
- EKG - dlhé QT
- Pozitívny Chvostekov a Trousseauov príznak



Trousseauov príznak



A. Chvostekov príznak je pozitívny, keď pri poklopaní na vetvenie nervus facialis sa vybaví homolaterálny záškľb hornej pery.  
B. Trousseauov príznak – pri nafúknutí manžety tlakomera nad hodnotu systolického tlaku sa do 3 min. objaví typické držanie ruky.

- Katarakta pri chronickej hypokalcémii
- Rachitída pri deficite vitamínu D



Chvostekov príznak



53

## Hyperkalcémia > 2.7 mmol/l

### Príčiny

ČASTÉ (90%)

- Primárny hyperparatyreoidizmus
- Maligné nádory – osteolýza pri kostných metastázach

MENEJ ČASTÉ

- Tyreotoxikóza, sarkoidóza

ZRIEDKAVÉ

- Liečba lítium, tbc, imobilizácia, zlyhanie obličiek, nadobličiek, dedičné

54

## Hyperkalcémia

### Príznaky

- slabosť, únavnosť, strata na váhe
- zhoršená koncentrácia, ospalosť (kóma)
- anorexia, nauzea, zvracanie, zápcha
- polyúria/polydipsia, dehydratácia
- obličkové kamene, nefrokalcinóza
- krátke QT, arytmie, zástava srdca

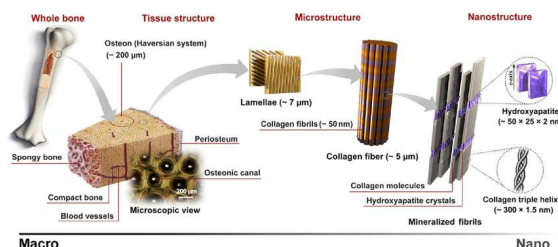
55

## Fosfáty

- 85 % v kostiach
- V bunkách aj v plazme
- Regulácia – PTH, vit. D a kalcitonin (spolu s Ca)

### Funkcie

- osifikácia kostí
- puľovací systém
- metabolizmus -fosfoproteíny, fosfolipidy, nukleové kyseliny



56

## Hypofosfatémia < 0.8 mmol/l

### Príčiny

- Poruchy vstrebávania
  - Deficit vit.D
  - Mg- and Al- soli
  - Alkoholizmus
  - Malabsorpcia
- Zvýšená renálna sekrécia
  - Hyperparatyroidizmus

### Prejavy

- Častý biochemický nález bez príznakov
- < 0,3 mmol/l svalová slabosť, rabdomyolýza, zhoršená funkcia Er, Leu, Th

57

## Hyperfosfatémia > 1.6 mmol/l

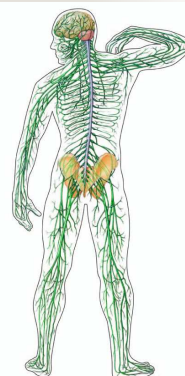
### Príčiny

- Obličkové zlyhanie
- Hypoparatyreoidizmus
- Katabolické stavy – maligné nádory, diabetická ketoacidóza
- Nadmerný prívod – kravské mlieko u malých detí parenterálne, predávkovanie vitamínu D

### Prejavy

- Inhibuje premenu vitamínu D na kalcitriol
- Metastatické ukladanie Ca v tkanivách
- Symptómy hypokalcémie - tetánia

58



## Poruchy homeostázy horčíka

59

## Magnézium - horčík

- Až 60 % v kostiach, veľa v ICT
- Len 0,3 % je v krvi, z toho 30% vo väzbe na proteíny,
- Koncentrácia v sére 0,7 – 1,0 mmol/l
- Nemá „vlastný“ regulačný hormón
  - Parathormón – podobne ako pri  $\text{Ca}^{2+}$  – zvyšuje reabsorpciu Mg v obličkách a podporuje jeho uvoľnenie z kostí
  - Kalcitriol – podobne ako pri  $\text{Ca}^{2+}$  – zvyšuje vstrebávanie v čreve
  - Aldosterón – podobne ako pri  $\text{K}^{+}$  – zvyšuje vylučovanie obličkami
- Vylučovanie močom i stolicou

60

## Magnézium - horčík

### Funkcie

- Regulácia nervovej a svalovej dráždivosti
- Stavba kostí
- Aktivita enzýmov, tvorba energie, transportné mechanizmy
- Regulácia krvného tlaku a cievneho tonusu
- Rovnováha vnútorného prostredia

### Možné funkcie

- Kardioprotektívny účinok, antiischemický, antihypoxický
- Sedatívny účinok na nervový systém
- Vplyv na hemostázu
- Vplyv na inzulínovú senzitivitu
- Modulátor imunitnej odpovede

61

## Hypomagneziémia < 0.7 mmol/l

### Príčiny

- Podvýživa a alkoholizmus
- Obličkové ochorenia
- Užívanie niektorých liekov, ktoré zvyšujú straty horčíka obličkami (napr. niektoré diuretiká).

### Prejavy

- podobné príznakom hypokalcémie – zvýšená dráždivosť, tetania a poruchy srdcového rytmu.

## Hypermagneziémia > 1 mmol/l

### Príčiny

- veľmi zriedkavá, môže byť spôsobená zlyhaním obličiek, alebo užívaním liekov obsahujúcich horčík

### Prejavy

- zníženie neuromuskulárnej dráždivosti, svalová slabosť, bradykardia a hypotenzia

62

## Referenčné hodnoty

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| Na <sup>+</sup>  | 135 - 145 mmol/l  |
| K <sup>+</sup>   | 3,8 - 5,5 mmol/l  |
| Ca <sup>2+</sup> | 2,2 - 2,8 mmol/l  |
| Mg <sup>2+</sup> | 0,7 - 1,0 mmol/l  |
| Cl <sup>-</sup>  | 97 - 109 mmol/l   |
| fosfáty          | 0,8 - 1,45 mmol/l |



63

## Poruchy acidobázickej rovnováhy



64



## Acidobázická rovnováha

- Koncentrácia (aktivita)  $H^+$  v arteriálnej krvi
  - $40 \pm 4 \text{ nmol/l}$  (alebo  $4 \cdot 10^{-8} \text{ mol/l}$ , alebo  $0,00000004 \text{ mol/l}$ )
- Sørensen (1909)
  - $pH = -\log [H^+]$ 

$$[H^+] = 40 \text{ nmol/l} = 40 \cdot 10^{-9} \text{ mol/l} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ mol/l}$$

$$pH = -\log [H^+]$$

$$pH = -\log 4 \cdot 10^{-8}$$

$$pH = -(\log 4 + \log 10^{-8})$$

$$pH = -(0,6 + [-8])$$

$$pH = -(-7,4)$$

$$pH = 7,4$$

65

## Hodnoty pH v niektorých bunkách a telesných tekutinách

|                  | pH                           | aH <sup>+</sup> nmol/l |
|------------------|------------------------------|------------------------|
| Arteriálna krv   | 7,36 - 7,44                  | 44 - 36                |
| Hranice života   | 6,80 - 7,70                  | 158 - 20               |
| Moč              | 5 - 6 (hranične 4,50 - 8,00) | 32000 - 10             |
| Erytrocyty       | 7,28                         | 53                     |
| Svalové bunky    | 6,90                         | 126                    |
| Žlč              | 6,2 - 8,5                    | 631 - 3                |
| Duodenálna šťava | 6,5 - 7,6                    | 316 - 25               |
| Bunky prostaty   | 4,50                         | 32 $\mu\text{mol/l}$   |
| Žalúdočná šťava  | 1,2 - 3,0                    | 1000 - 63              |

66

## Hydrogenuhličitanový pufrovací systém Hendersonova a Hasselbalchova rovnice

$$\text{pH} = \text{pK} + \log [\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]$$

- $\text{pK} = 6,1$
- $\text{HCO}_3^- = 24 \text{ mmol/l}$
- $\text{H}_2\text{CO}_3 = 1,2 \text{ mmol/l}$
- $\text{pH} = 6,1 + \log (24/1,2) = 6,1 + 1,3$
- $\text{pH} = 7,4$

**zjednodušená**  $\text{pH} \sim [\text{HCO}_3^-]/\text{pCO}_2$

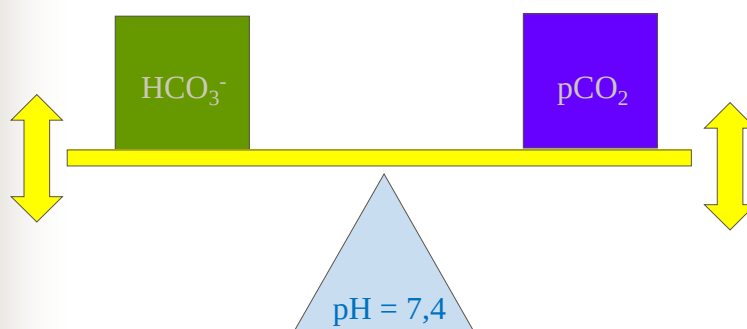
- $\text{pCO}_2 [\text{torr}] \cdot 0,03 = \text{H}_2\text{CO}_3 [\text{mmol/l}]$
- $40 \cdot 0,03 = 1,2$

67

## Jednoduché poruchy ABR

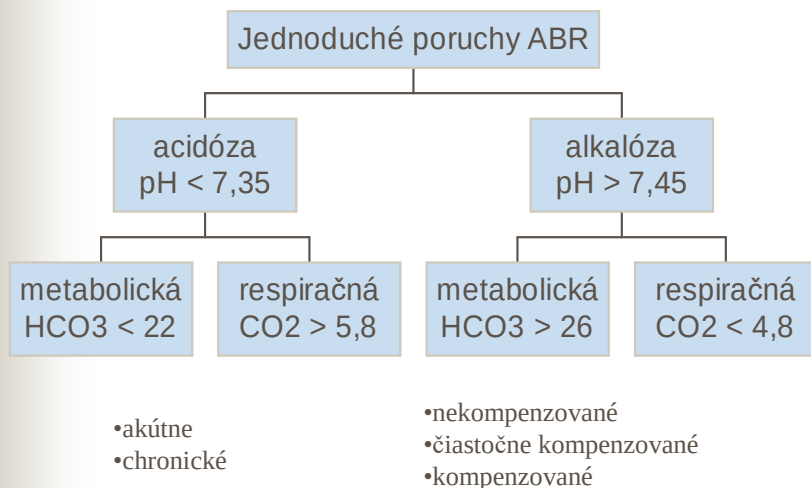
Metabolická složka      Respirační složka

$$\text{pH} \sim [\text{HCO}_3^-]/\text{pCO}_2$$



68

## Klasifikácia jednoduchých porúch ABR



69

## Metabolická acidóza

### 1. Zvýšený príjem alebo tvorba $H^+$

#### A. Zvýšený príjem látok, ktoré sú zdrojom $H^+$

- acidifikácia chloridom amónnym, chloridom vápenatým (záťažové testy)
- liečivá
  - salicylany, barbituráty, liečivá vo forme hydrochloridov (arginínhydrochlorid, lyzínhydrochlorid – záťažové testy)
- intoxikácia kyselinami
- intoxikácia látkami, z ktorých vznikajú kyseliny
  - metanol ( $\rightarrow$  kyselina mravčia), etanol ( $\rightarrow$  k. octová)

#### B. Endogénna tvorba $H^+$

- tvorba ketolátok – diabetes mellitus (DM), hladovanie, alkoholický exces
- tvorba laktátu
  - typ A – s hypoxiou – kardiopulmonálne poruchy, šok, anémia
  - typ B – bez hypoxie - DM, renálna insuficiencia, hepatopatie, infekcie
- liečivá a toxíny - biguanidy, etanol, metanol, fruktóza, sorbitol, xylitol
- hereditárne choroby - glykogenóza typu I, deficit fruktóza-1,6-bisfosfatázy

70

## Metabolická acidóza

### 2. Znížená exkrécia $H^+$

- renálna insuficiencia
- renálna tubulárna acidóza (RTA) typ I (distálny typ – porucha vylučovania  $H^+$ )

### 3. Zvýšené straty $HCO_3^-$

- hnačky
- RTA II typ – proximálny (porucha spätnej resorpcie a zvýšené straty  $HCO_3^-$ )
- diuretiká – acetazolamid, tiazidy (inhibítory karboanhydrázy)

### Klinické príznaky

- Hyperventilácia – Kussmaulovo dýchanie
- Bolesti hlavy, únava, slabosť
- Nauzea, zvracanie, anorexia
- Hypotenzia, tachykardia
- Zmätenosť, somnolencia až kóma



71

## Metabolická alkalóza

### 1. Primárny deficit $Cl^-$

Deficit  $Cl^-$  je kompenzovaný nárastom koncentrácie  $HCO_3^-$

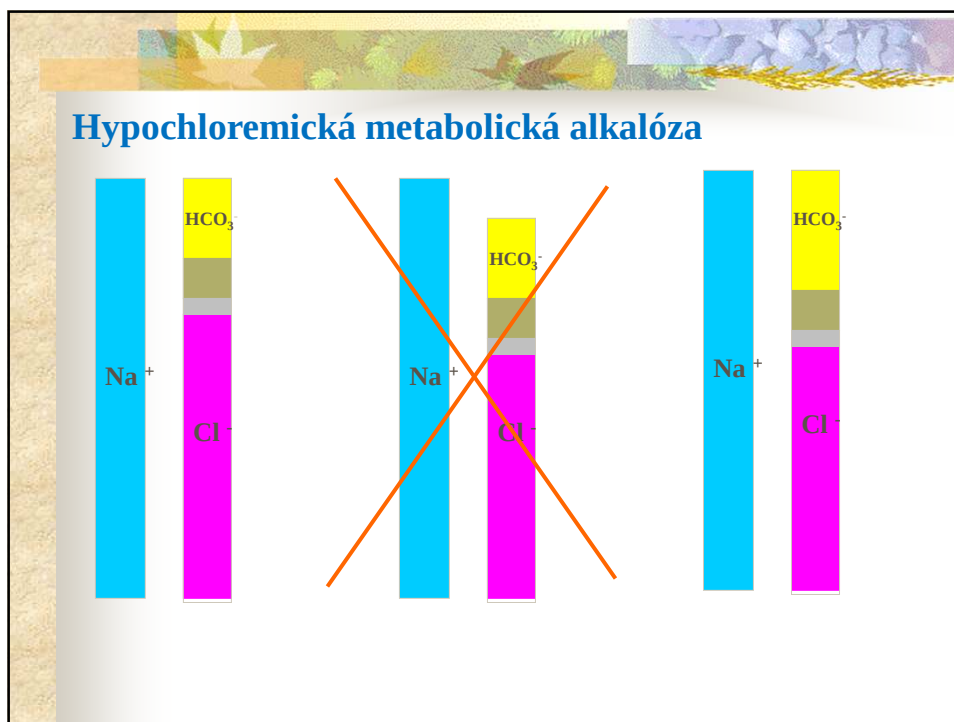
#### A. Nedostatočný prívod chloridov (skôr teória, veľmi zriedkavé)

#### B. Nadmerné straty

- vracanie, odsávanie žalúdočného obsahu
- nadmerná korekcia MAC
- diuretiká (tie, ktoré ovplyvňujú spätnú resorpciu  $Cl^-$ )
- chloridodiarhea (zriedkavé ochorenie u detí)

#### C. Kontrakčná alkalóza (dehydratácia so stratami $K^+$ a $Cl^-$ a šetrením $Na^+$ )

72



73

## Metabolická alkalóza

### 2. Primárny nadbytok $\text{HCO}_3^-$

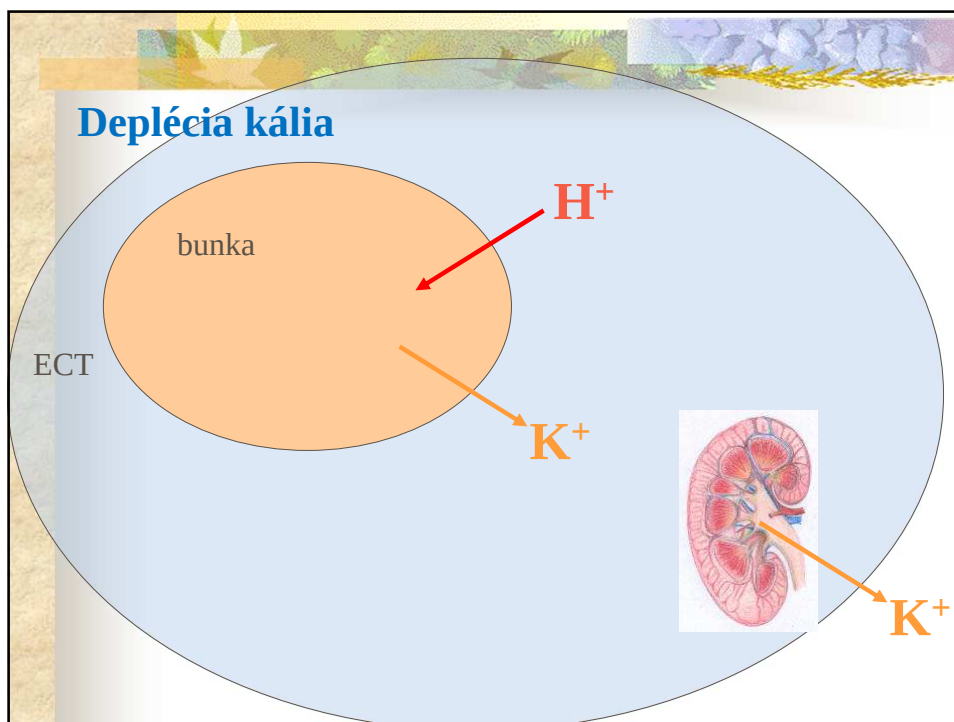
#### A. Nadmerný prívod alebo tvorba $\text{HCO}_3^-$

- nadmerný prívod  $\text{HCO}_3^-$  (vo forme sodnej alebo draselnej soli ako kompenzácia MAC)
- antacidá
- Milk-alkali syndróm – nadmerný prívod  $\text{NaHCO}_3$  alebo  $\text{KHCO}_3$  spolu s vysokým príjmom mliečnych výrobkov pri liečbe vredovej choroby žalúdka
- soli organických kyselín – laktát, acetát, citrát (pri transfúziách)

#### B. Deplécia $\text{K}^+$

- deplécia  $\text{K}^+$  (IC acidóza, EC alkalóza)
- Bartterov syndróm (nedostatočná spätná resorpcia  $\text{Cl}^-$  a deplécia  $\text{K}^+$ )
- hyperaldosteronizmus (štetenie  $\text{H}_2\text{O}$  a  $\text{Na}^+$  a  $\uparrow$  straty  $\text{K}^+$  aj iných iónov)
- realimentačná alkalóza (realimentácia pacienta po hladovke s acidózou)

74



75

### Metabolická alkalóza

#### Klinické príznaky

- Hypoventilácia → hypoxémia
- Tetanické kŕče (alkalóza zvyšuje väzbu  $Ca^{2+}$  na bielkoviny → ↓ ionizovaný  $Ca^{2+}$  → ↑ neuromuskulárna dráždivosť)
- Hypokaliémia
- Arytmie (v dôsledku hypokaliémie + ↓ ionizovaného  $Ca^{2+}$ )
- Nauzea, vracanie, zápcha

76



## Respiračná acidóza

Akékoľvek ochorenie alebo stav, sprevádzané hypoventiláciou

1. **Centrálna depresia dýchania**
  - poruchy alebo poškodenia dýchacieho centra – trauma, nádor, ↑ vnútrolebečný tlak, ischémia (embólia, trombóza), zápal, Pickwickov sy., spánkové apnoe
  - lieky – sedatíva, hypnotiká, narkotiká
2. **Ventilačné a respiračné poruchy**
  - A. **Poruchy hrudníka**
    - trauma, kyfaskolióza
  - B. **Neuromuskulárne poruchy**
    - myopatie – svalové dystrofie, deplécia  $K^+$ , myastenia gravis
    - neuropatie – poliomyelitída, botulizmus, traumatické poškodenie miechy
  - C. **Choroby pľúc**
    - obštrukcia pľúc – akútna, chronická
    - pneumónie
    - pneumotorax, hemotorax, edém pľúc, atelektázy, fibrózy, status asthmaticus
3. **Iné príčiny** - nevhodná umelá ventilácia

77

## Respiračná acidóza

### Klinické príznaky

- Vazodilatácia mozgových ciev – bolesti hlavy, stupor, kóma
- Dyspnoe, hypoxémia, cyanóza a iné príznaky základného ochorenia
- Tachykardia

78

## Respiračná alkalóza

Akémkoľvek ochorenie alebo stav, sprevádzané hyperventiláciou

### 1. Poruchy CNS

- strach a hystéria
- traumy, nádory, zápaly v oblasti dýchacieho centra
- infekcie – meningitídy, encefalitídy

### 2. Choroby pľúc

- pľúcna embólia
- edém
- pneumónia
- kardiálna dekompenzácia

RAL je dôsledkom hyperventilácie  
(možné len u ľahkých foriem)

### 3. Metabolické poruchy

- horúčka
- farmaká – salicylany, progesterón
- gramnegatívna sepsa

### 4. Iné

- nesprávna umelá ventilácia
- nadmerná kompenzácia MAC

79

## Respiračná alkalóza

### Klinické príznaky

- Vazokonstrikcia mozgových ciev – bolesti hlavy
- Hyperventilácia jako príznak základného ochorenia
- Tetanické kŕče (alkalóza zvyšuje väzbu  $\text{Ca}^{2+}$  na bielkoviny  $\rightarrow \downarrow$  ionizovaný  $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \uparrow$  neuromuskulárna dráždivosť)
- Arytmie
- Tachykardia

80

## Zmiešané poruchy ABR

### MAC a MAC

- Laktátová acidóza a ketoacidóza – diabetes mellitus

### MAC a RAC

- RAC + laktátová MAC - CHOCHP

### MAC a MAL

- Hnačka a vracanie
- Intoxikácia alkoholom a vracanie

### MAC a RAL

- Edém pľúc v skorom štádiu – laktátová MAC + hyperventilácia (RAL)

### MAL a RAL

- MAC kompenzácia + alkalizácia

### ~~RAC a RAL~~

~~NIKDY~~

81

## Kompenzácia porúch ABR

- kompenzačný mechanizmus organizmu, ktorým sa snaží vrátiť pH čo najbližšie k norme

- ak je zmena pH spôsobená metabolickou zložkou ( $\text{HCO}_3^-$ )

- **kompenzácia – respiračná zložka (pľúca)**

- MAC – kompenzáciou je hyperventilácia, Kussmaulovo dýchanie
- MAL - kompenzáciou je hypoventilácia
- Oneskorenie 12 – 24 hodín

- ak je zmena pH spôsobená respiračnou zložkou ( $\text{pCO}_2$ )

- **kompenzácia – metabolická zložka (obličky)**

- RAC – kompenzáciou je zvýšená reabsorpcia  $\text{HCO}_3^-$  obličkami
- RAL - kompenzáciou je znížená reabsorpcia  $\text{HCO}_3^-$  obličkami (zvýšené vylučovanie  $\text{HCO}_3^-$  obličkami)
- Oneskorenie 2 – 3 dní

82

## Kompenzácia

metabolická acidóza

$$\text{pH} \sim \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{pCO}_2}$$

kompenzácia

$$\text{pH} \sim \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{pCO}_2}$$

dýchanie (hyperventilácia)

respiračná acidóza

$$\text{pH} \sim \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{pCO}_2}$$

kompenzácia

$$\text{pH} \sim \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{pCO}_2}$$

obličky (zvýšia šetrenie bikarbonátov)

83

## Kompenzácia

metabolická alkalóza

$$\text{pH} \sim \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{pCO}_2}$$

kompenzácia

$$\text{pH} \sim \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{pCO}_2}$$

dýchanie (hypoventilácia)

respiračná alkalóza

$$\text{pH} \sim \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{pCO}_2}$$

kompenzácia

$$\text{pH} \sim \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{pCO}_2}$$

obličky (obmedzia šetrenie bikarbonátmi)

84



85